

электросетевую компанию и потребителей электроэнергии повышать эффективность и надежность процесса передачи электрической энергии на основе взаимной выгоды.

Используя программный комплекс «Balance5» были проведены расчеты ЭСР для тестовых и реальных электрических сетей, показавшие применимость методики.

Список использованных источников

1. Паздерин А. А., Паздерин А. В., Софьин В. В. Технико-экономическая модель передачи электрической энергии в сетях энергосистем // Электричество. 2017. № 7. С. 4–12.
2. Паздерин А. А., Паздерин А. В. Совершенствование системы тарификации услуг на передачу электрической энергии // Научное обозрение, 2016. № 20. С. 207–213.
3. Паздерин А. А., Паздерин А. В. Представление процесса передачи электроэнергии направленными потоками электроэнергии и стоимости в схеме сети // Электротехнические системы и комплексы. 2017. № 1 (34). С. 31–36.
4. Паздерин А. В. Решение задачи энергораспределения в электрической сети на основе методов оценивания состояния // Электричество. 2004. № 12. С. 2–7.

УДК 66.096.5

ОСОБЕННОСТИ РЕАГИРОВАНИЯ ПОРИСТЫХ ЧАСТИЦ СУЛЬФИДА ЖЕЛЕЗА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОЦЕССАМ ОБЖИГА ЦИНКОВОГО КОНЦЕНТРАТА

FEATURES OF THE POROUS PARTICLES REACTION OF IRON SULPHIDE WITH RESPECT TO THE PROCESSES OF ZINC CONCENTRATE ROASTING

Ивакина С. А., Даминов Д. Р., Мунц В. А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
svetlana-ivakina@mail.ru

Ivakina S.A., Daminov D.R., Munts V.A.
Ural Federal University, Ekaterinburg

Аннотация: В работе рассматривается кинетика окисления одного из основных компонентов цинкового концентрата – пирита. На основании проведенных автором на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 экспериментов получена эмпирическая зависимости для определения константы скорости химического реагирования пирита для дальнейшего определения кинетики окисления и газообразования при обжиге шихты в кипящем слое.

Abstract: The oxidation kinetics of one of the main components of the zinc concentrate, pyrite, is considered. On the basis of the experiments carried out on the device of the synchronous thermal analysis NETZSCH STA 449 F3, empirical dependence was obtained to determine the reaction velocity constant of pure substance (pyrite) for further determination of oxidation kinetics and the gas generation during annealing of zinc concentrate in the fluidized bed.

Ключевые слова: *цинковый концентрат, пирит, константа скорости химического реагирования, кипящий слой.*

Key words: *zinc concentrate, pyrite, reaction velocity constant, fluidized bed.*

С целью оптимизации работы печи кипящего слоя для обжига сульфидных цинковых концентратов, в частности, экономии кислорода на дутье, необходимо моделирование тепловых процессов. Для этого требуется в лабораторных условиях изучить кинетику окисления основных компонентов шихты – сфалерита и пирита – для дальнейшего определения кинетики окисления и газообразования при обжиге шихты в кипящем слое. Кинетика окисления сфалерита была изучена в работе [1].

Для исследований в качестве пирита (FeS_2) использовали искусственно полученное порошкообразное вещество с содержанием примесей менее 5 %. Обжиг выполнялся при различных температурах на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3. В тигель помещали навеску массой $m = 10$ мг. Нагрев навески

происходил в среде аргона, при достижении требуемой температуры подавался воздух. Непрерывно измерялась масса навески и относительная концентрация газовых компонентов.

Как показали эксперименты, массовое количество вещества, реагирующего в единицу времени $J = \xi \cdot \frac{m_0 \cdot d(m/m_0)}{d\tau}$, кг/с, не зависит

от диаметра частиц в навеске, а зависит только от температуры обжига [2]. В формуле m_0 – начальная масса реагирующего вещества,

кг, $\xi = \frac{\mu_{2FeS_2}}{\mu_{2FeS_2} - \mu_{Fe_2O_3}} = \frac{2 \cdot 119,975}{2 \cdot 119,975 - 159,694} = 2,99$ – коэффициент,

учитывающий исчезновение исходного вещества. Это свидетельствует о протекании реакции во всем объеме частицы.

Микрорентгеновский анализ частиц сульфида железа доказывает, что частицы имеют развитую пористую поверхность как до, так и после обжига. Таким образом, можно считать, что при малой массе навески, когда толщина слоя в тигле меньше глубины проникновения кислорода в слой, поверхность всех частиц в навеске равнодоступна и равна концентрации кислорода в дутье. В этом случае можно записать поток реагирующего вещества как для одиночной частицы [3]:

$$J = \frac{dm}{d\tau} = \xi \cdot \frac{m_0 \cdot d(m/m_0)}{d\tau} = -\nu \cdot k \cdot \pi \cdot \delta^2 \cdot (1 + \zeta_0 \cdot S_i) \cdot C_{O_2}, \text{ кг/с.} \quad (1)$$

Здесь: k – константа скорости химического реагирования, отнесенная к внешней поверхности частицы, м/с; δ – диаметр частиц, м; ζ_0 – глубина проникновения реакции, м; S_i – удельная внутренняя поверхность реагирования, м⁻¹; C_{O_2} – концентрация кислорода в дутье, кг/м³; ν – стехиометрический коэффициент реакции окисления

пирита, равный $\nu = \frac{\mu_{2FeS_2}}{5,5 \cdot \mu_{O_2}} = \frac{2 \cdot 119,975}{5,5 \cdot 32} = 1,36$.

Выражая площадь поверхности частицы через начальную массу частицы как $\pi \cdot \delta^2 = \frac{m_0}{\rho} \cdot \frac{6}{\delta}$, а также считая, что в случае реагирования

частиц малых размеров активная глубина реакции равна $\zeta_0 = \frac{\delta}{6}$ [4], и пренебрегая реагированием на поверхности частицы по сравнению с внутренним реагированием, получим выражение для расчета произведения скорости химического реагирования на удельную внутреннюю поверхность, подставив допущения в выражение (1):

$$K = k \cdot S_i = -\frac{\xi}{\nu} \cdot \frac{\rho}{C_{O_2}} \cdot \frac{d(m/m_0)}{d\tau}, \text{ с}^{-1}, \quad (2)$$

где ρ – плотность пирита с учетом внутренней порозности частицы, кг/м³.

Обработка экспериментальных данных (таблица) позволила получить следующие значения из экспериментов по обжигу сульфида железа.

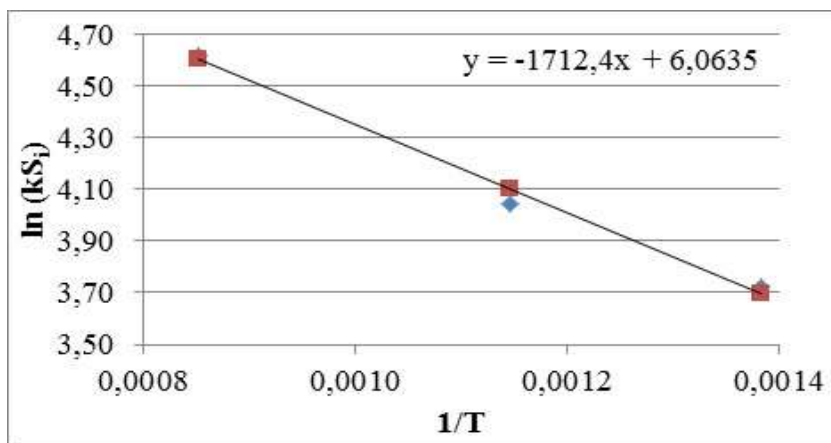
Результаты обработки экспериментальных данных

FeS ₂					
Температура	T	К	723	873	1173
Диаметр 100 мкм					
Произведение	$k \cdot S_i$	с ⁻¹	41	57	101
Диаметр 300 мкм					
Произведение	$k \cdot S_i$	с ⁻¹	41	56	104
Диаметр 515 мкм					
Произведение	$k \cdot S_i$	с ⁻¹	42	58	103

Из расчетов видно, что произведение $k \cdot S_i$ практически не зависит от начального диаметра частиц и является функцией температуры.

Обработка экспериментальных данных (рисунок) позволила получить эмпирическую зависимость в виде:

$$k \cdot S_i = 430 \cdot \exp\left(-\frac{14237}{8,314 \cdot T}\right).$$



Зависимость $\ln(k \cdot S_i)$ от обратной температуры для частиц пирита различного диаметра (линия – расчет, точки – эксперимент)

Список использованных источников

1. Мунц, В. А. Определение кинетических характеристик окисления сульфида цинка / В. А. Мунц, С. А. Ивакина // Международный союз ученых «Наука. Технологии. Производство». – 2015. – № 3 (7). Ч. 2. – С. 34–37.
2. Мунц, В. А. Газообразование при обжиге цинкового концентрата в кипящем слое / В. А. Мунц, С. А. Ивакина, В. М. Терентьев // Цветные металлы. – 2017. – № 2. – С. 40–45.
3. Prins, W. Fluidised bed combustion of a single carbon particle. The Netherlands, Quick Service Drukkerij Enschede, 1987. 258 p.
4. Канторович, Б. В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б. В. Канторович. – М. : Издательство АН СССР, 1958. – 598 с.

УДК 662.61

ВЛИЯНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ ОКИСЛИТЕЛЯ НА ВИДИМУЮ СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДОВ

THE INFLUENCE OF THE OXIDANT PENETRATION DEPTH ON THE APPARENT REACTION VELOCITY OF SULFIDES OXIDATION

Ивакина С. А., Пятанова Е. С., Мунц В. А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
svetlana-ivakina@mail.ru